QUELQUES ASPECTS ACTUELS DU PROBLEME DE LA MATIERE ORGANIQUE DES SOLS

par

G. Manil (*)

PLAN DU RAPPORT

A. Avant propos

Le sujet que nous abordons est vaste comme le monde, vieux comme le monde et durera autant que le monde.

Le problème de l'humus est en réalité celui de toute la biosphère continentale. Pour pouvoir accueillir les plantes supérieures la lithosphère a dû se recouvrir progressivement d'un sol, c'est-à-dire d'un milieu meuble, mais doué d'une certaine organisation, que nous appelons la structure qui permet au milieu édaphique de conserver une porosité suffisante pour être constamment accessible aux racines.

Hormis le cas des sols squelettiques, sableux grossiers ou caillouteux, la porosité est assurée par le ciment colloïdal.

Une partie de ce ciment est purement minérale et constitue ce que nous appelons l'argile pédologique avec ses composants bien

---

(*) Centre d'étude des sols forestiers
Centre de chimie physique Agricole — 2e section
Centres subsidiés par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.)

connus, les argiles minéralogiques, les oxydes de fer et d'alumine plus ou moins hydratés, la silice colloïdale, si on les considère séparément.

En fait, ces composants sont le plus souvent impliqués dans des complexes du type argilo-ferrique, argilo-aluminique, ferri-silicique, etc...

Mais il manque encore un pont, une frange de contact entre les êtres vivants proprement dits et le substrat minéral même colloïdal.

Et ce pont est assuré par l'humus qui, d'une part prolonge les activités colloïdales purement minérales, qui, d'autre part, se trouve engagé dans les cycles biologiques, et spécialement les cycles du carbone et de l'azote.

L'humus est à la fois en prolongement physico-chimique de la lithosphère et en prolongement organique de la biosphère.

Et si notre attention s'arrête plus spécialement à ces composés de la biosphère que nous appelons les plantes cultivées ou les animaux de nos élévages, ou si nous ne nous intéressons qu'aux végétations exploitées plus ou moins permanentes comme les forêts, si même nous n'étudions d'une manière désintéressée, que les groupements végétaux et animaux naturels, dans tous les cas nous rencontrons le même problème de l'humus.

Ce problème de l'humus, nous le retrouvons donc quand nous discutons de fertilité des sols agricoles ou forestiers avec toute l'importance économique que nous attachons à cette idée de fertilité,

— nous le retrouvons chaque fois que nous parlons d'équilibre ou de climax en conditions naturelles ou subnaturelles,

— nous le retrouvons encore quand nous observons la dégradation de la nature, la dégradation des sols plus particulièrement.

Il y a deux façons d'aborder le sujet :

La première consiste à répondre à la question :

« *Mais que peut-on encore dire de neuf au sujet de l'humus* »?

Depuis que l'homme écrit à des fins agricoles il est question de la matière organique. Il existe de nombreux ouvrages sur l'humus, d'innombrables articles, de tous pays, de toutes tendances, d'intérêt limité ou de portée générale.

La seconde façon d'entreprendre l'exposé est beaucoup plus timide et se borne à poser la question :

« *Mais au fond que connaît-on déjà de l'humus* »?

Deux difficultés majeures se présentent pour aborder le sujet qui nous intéresse aujourd'hui.

La première résulte de l'impossibilité dans laquelle n'importe qui d'entre nous se trouve de dépouiller l'interminable littérature

concernant le sujet. Même parmi les résultats obtenus par les chercheurs de notre pays, il en est de très nombreux auxquels je ne ferai même pas allusion, et je vous prie à l'avance de m'en excuser.

La seconde difficulté provient de l'état encore trop fragmentaire et analytique de nos connaissances sur un problème aux aspects tellement multiples et vastes. Il demeure encore impossible d'assurer un effort de synthèse pleinement satisfaisant.

Nous abordons donc le sujet d'une manière prudente en nous réservant de n'insister que sur certains points particuliers bien définis.

B. **Humus: Rappel de notions de base**

Tout exposé commence par une définition.

Qu'entend-on par « humus » ?

Il n'existe pas de conventions internationales. Nous choisissons une définition très générale :

L'humus groupe l'ensemble des matières organiques du sol, à l'exclusion des êtres vivants et des débris morts peu ou pas décomposés.

Le tableau suivant donne, très schématiquement, les différentes phases de l'évolution naturelle de la matière organique édaphique.

Il est inutile d'insister sur le fait qu'un tel fractionnement relève d'une opération à la fois conventionnelle et didactique, sachant parfaitement que les différentes phases s'interpénètrent très intimement, et dans le temps, et dans l'espace.

Rappelons toutefois que le terme « *minéralisation* » s'applique aux processus qui amènent une perte absolue au dépens du capital organique par suite de la formation de substances minérales comme l'eau, l'acide carbonique, l'acide nitrique, etc...

Le terme « *humification* » couvre conventionnellement l'ensemble des processus de formation de substances organiques, chimiquement et physico-chimiquement plus ou moins actives, et différant des produits animaux, et végétaux originels, entre autres, par une stabilité accrue, c'est-à-dire une plus grande résistance aux attaques microbiennes.

La « *tourbification* » qui n'est pas abordée dans le présent rapport s'adresse aux formes plus ou moins lentes d'évolution, en conditions d'anaérobiose, prévalant au moins pendant une partie importante de l'année.

Phases	Causes et processus	Caractéristiques
I. Lessivage physique	eau météorique	Perte de substances solubles : sucres, acides organiques, sels minéraux, substances actives.
II. Désagrégation physique	. Agents physiques naturels (gel, alternances de sécheresse et d'humidité...) . Surtout, action de la faune (acariens, collemboles et divers).	Augmentation de la surface d'attaque microbiologique.
III. Décomposition biologique (phase catabolique) principale	Microflore et microfaune Processus essentiellement biochimiques — cellulolyse, protéolyse, etc...	. Minéralisation partielle . Formation de matières organiques à petites molécules sans potentiel de synthèse : acides organiques..., . Formation de produits simplifiés à potentiel de synthèse, acides uroniques, produits phénoliques, etc... (substances préhumiques). . Composés relativement peu attaqués — lignine. (substances préhumiques).
IV. Synthèse ou mélanisation (phase anabolique principale)	Processus biochimiques et chimiques, oxydation, polymérisation, condensation, autolyse des micro-organismes, actions catalytiques, etc...	. Formation d'acides humiques à molécules relativement grosses, à propriétés colloïdales. . Fixation d'azote, sous forme lentement minéralisable (Azote hétérocyclique) ou sous forme plus aisément minéralisable (formes aminées).
V. Complexation	Processus biochimiques et physico-chimiques. Rôle des animaux fouisseurs (vers).	. Formation de complexes organo-minéraux, de nature et propriétés diverses suivant les propriétés de surface engagées.
VI. Minéralisation	Processus biochimiques et photochimiques(!)	

L'examen de ce tableau permet d'avancer une définition approximative des trois grands groupes d'humus aérobies :

Les *mor*, dont l'élaboration s'achève essentiellement à la phase III se composent principalement de produits de décomposition, ou de synthèse très partielle répondant au terme de *substances préhumiques* de Laatsch. Ils résultent surtout de l'activité des champignons dont le pouvoir de synthèse est limité.

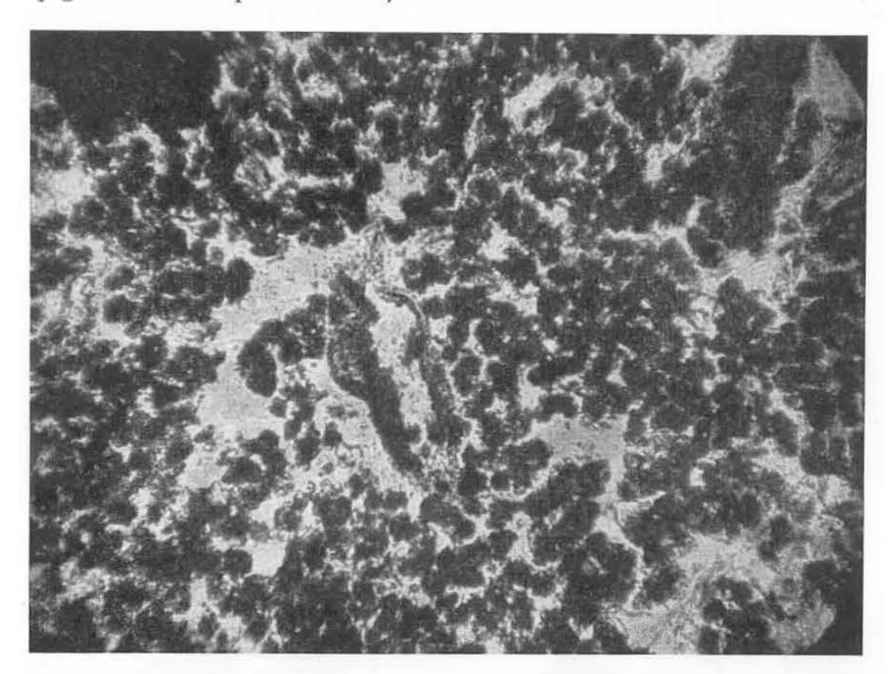


Fig. 1. Aspect en lame mince d'un humus du type *moder*. La matière organique se répartit en très fins agrégats correspondant à des excréments d'acariens, de collemboles, etc. Le mélange avec les colloïdes minéraux est trés mal assuré.
(Photo Centre d'Etude des Sols Forestiers de Gembloux - × 72.)

Les *moder* terminent leur évolution avec la phase IV.

L'absence de faunes fouisseuses très actives représentées surtout par les gros vers musculeux n'assure pas de contacts suffisamment intimes avec une masse importante de colloïdes minéraux.

Les *mull* se caractérisent essentiellement par la formation de complexes organo-minéraux.

Alors que les deux formes précédentes s'accompagnent presque toujours d'accumulations organiques en surface (horizons A^o), les *mull* ne présentent pas ce phénomène, mais manifestent, par contre, une forte diffusion en profondeur des complexes organo-minéraux.

En un point donné, l'exixtence de l'une ou l'autre forme

d'évolution humificatrice dépend de l'ensemble des facteurs stationnels, qu'ils soient externes comme le climat ou la richesse du substrat minéral en bases, ou internes comme la composition des débris organiques soumis à la décomposition.

Sous végétations naturelles et spécialement forestières, les trois grands groupes d'humus aérobies peuvent se juxtaposer dans l'espace selon les fluctuations des conditions écologiques.

Sous culture, ce sont le plus souvent des formes de *mull* ou de *moder* qui se laissent observer; quand ils existent, les *mor* sont généralement hérités de stades végétaux ayant précédé la mise en culture.

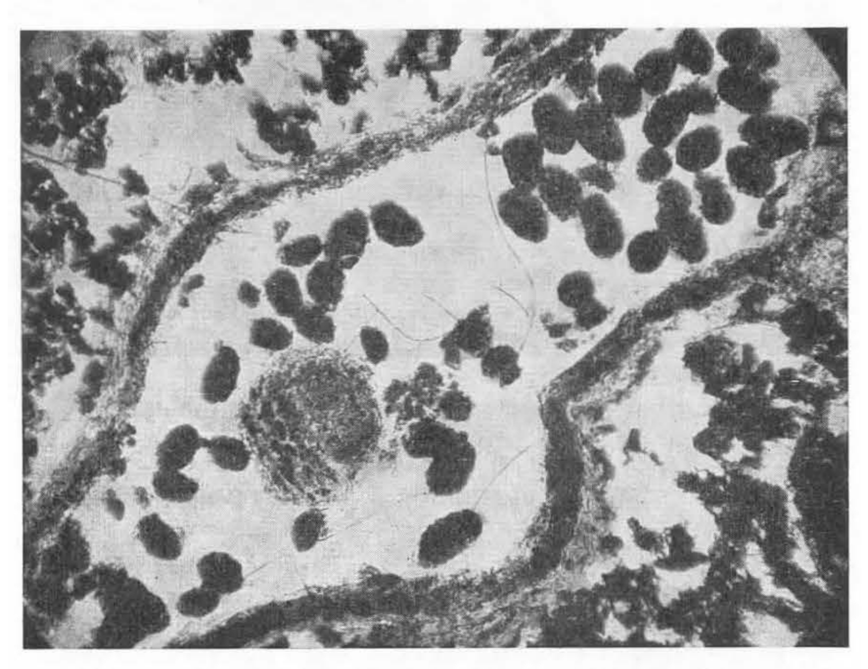


Fig. 2. Détail dans une lame mince d'un humus du type *moder*.
Les fins éléments coprogènes qui constituent l'humus sont enfermés dans un débris végétal dont l'intérieur a été dévoré par des acariens. (Photo Centre d'Étude des Sols Forestiers de Gembloux - × 72.)

Un premier problème: l'importance humificatrice de la faune

Lorsqu'on examine le jeu de l'humification à l'aide de lames minces, on est rapidement frappé par l'importance que prend la faune dans l'évolution de la matière organique.

Spécialement sous forêt, on se rend compte immédiatement que la quasi-totalité de la masse organo-minérale des horizons supérieurs du profil est passée par le tube digestif des animaux. Il

faut en tirer une première conclusion intéressante, c'est que les processus microbiens qui ont présidé aux transformations organiques se sont déroulés, au moins en partie, dans des conditions écologiques autres que celles que l'on mesure habituellement dans le sol, tant au point de vue de l'anaéobiose que du degré de saturation en bases.

Ceux qui ont observé la structure grumeleuse très stable et très bien développée de certains sols forestiers eutrophes ou de sols de prairies sur substrats frais et fortement saturés en bases n'ont pas manqué de remarquer que l'architecture structurale des terres de culture est souvent moins manifeste et moins stable.

C'est ainsi que le problème a été posé par des biologistes du sol comme SEKERA de savoir si, dans les sols agricoles, la faune joue encore un rôle suffisant au point de vue humificateur.

Selon des spécialistes comme SEKERA déjà cité, FRANZ, KUBIENA, la faune joue un rôle qui n'est jamais négligeable dans l'élaboration des acides humiques proprement dits, à molécules relativement grosses et à propriétés colloïdales bien caractérisées, et dans la genèse des complexes organo-minéraux stables et floculés.

Or, dans les conditions agricoles les plus courantes, l'action de la faune est entravée pour plusieurs raisons :

— apport insuffisant de matières fraîches,
— localisation pas assez superficielle de ces matières, sauf cas du paillis,
— perturbations introduites par le travail du sol.

Voici une observation que nous avons faite en creusant des profils dans les terres de la ferme expérimentale de l'Institut Agronomique de Gembloux, l'année qui avait suivi l'enfouissement de fumier.

A 25 cm de profondeur, la couche de fumier était remplacée par une fine strate noirâtre de *moder*. L'humification n'avait donc pas suivi son processus normal d'aboutissement au type *mull*.

Dans la nature forestière, chaque année une litière se dépose à la surface du sol. Cette accumulation crée des effets de concentration et de micro-climat favorables qui font défaut aux sols agricoles.

D'après SEKERA et d'autres, et conformément à l'observation précitée, le fumier ou d'autres formes d'apports organiques risquent de demeurer dans la terre comme des substances étrangères, n'intervenant pratiquement pas de manière directe dans l'élaboration des complexes organo-minéraux stables.

L'idéal serait d'enfouir la matière organique le plus près possible de la surface, c'est-à-dire en des conditions où prévaut un fort degré d'aération nécessaire à la pleine activité de la faune. Il faut prévoir également de diviser finement l'amendement.

SEKERA résume comme suit les pratiques les plus favorables de travail du sol : labour peu profond combiné avec un sous-solage

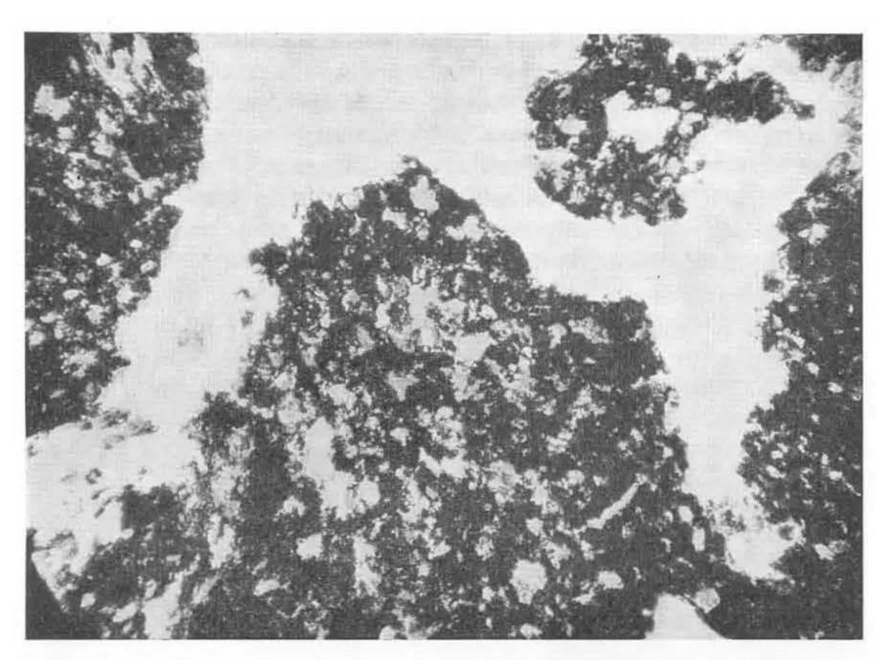


Fig. 3. Aspect d'un humus du type *mull* en lame mince. La matière organique est intimement mélangée à la matière minérale.
La structure du sol apparaît bien grumeleuse. Les pores sont larges et sinueux.
(Photo Centre d'Etude des Sols Forestiers de Gembloux. - × 72.)

également peu profond pour perturber le moins possible les activités humificatrices des débris radiculaires des cultures précédentes.

Des numérations de faune ont bien montré l'influence favorable de l'enfouissement superficiel.

L'essentiel pour nous est de retenir qu'il existe des aspects purement phytotechniques de l'humification qui n'ont peut-être pas attiré l'attention générale d'une manière suffisante.

C. Les fonctions de l'humus dans le sol

A l'occasion de ce chapitre, il nous paraît important de préciser quelques autres aspects du problème de l'humus.

L'essentiel n'est pas de prouver une nouvelle fois, et après de nombreux auteurs, que la matière organique est un élément indispensable au maintien ou à l'accroissement de la fertilité des terres. Mais l'important est d'examiner s'il n'est pas possible d'envisager des bases mieux définies au problème de l'économie en humus des espaces cultivés.

Une voie à suivre selon nous consiste à établir les différentes fonctions que les composés organiques sont amenés à remplir au sein du milieu édaphique, puis de tenter de faire la part de ce qui revient nécessairement à ces composés organiques et de ce qui peut être confié à des produits de suppléance.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il serait illusoire de vouloir donner une réponse définitive. Il nous paraît toutefois intéressant d'entamer une discussion.

Ajoutons encore que le fractionnement du rôle de l'humus en fonctions séparées est pour une large part une opération arbitraire et conventionnelle, au même titre que la répartition du comportement physiologique des animaux en grandes fonctions respiratoires, circulatoires, digestives, etc...

Il est évident que la plupart des fonctions ont entre elles des relations d'interdépendance plus ou moins étroites.

C'est avec la réserve imposée par les considérations précédentes que nous présentons le tableau suivant groupant les différents aspects de l'activité humique.

De très nombreux auteurs ont abordé le sujet des fonctions de la matière organique, au moins implicitement.

Les multiples méthodes de fractionnement de l'humus proposées par les spécialistes n'ont pas seulement comme utilité d'approfondir nos connaissances sur la composition spécifique des différents types de complexes humiques et de leur genèse. Ces méthodes peuvent également apporter une contribution intéressante à une meilleure définition des fonctions organiques dans le sol.

A titre d'exemple nous rappellerons les noms de THAER, SPRENGER, BERZELIUS, MULDER, ODEN, VAN BEMMELEN, GRANDEAU, SCHLOESSING, WOLLNY, DEHERAIN, SCHMUCK, WILJAMS, WAKSMANN, KONONOVA, TIURIN, CHAMINADE, SCHEFFER, LAATSCH, BREMMER, FLAIG, etc... parmi ceux qui ont procédé ou qui procèdent à des recherches sur la composition de l'humus.

Pour la Belgique, signalons, tout d'abord, les travaux du laboratoire du professeur SIMONART de Louvain utilisant le carbone marqué C 14 pour suivre les processus d'humification et préciser des relations sûres entre la composition de la matière première soumise à l'humification et la constitution de l'humus.

Un des résultats importants de ces études est de confirmer que les composés quaternaires des acides humiques ont une double origine : la partie hydrolysable aux acides, la plus riche en azote est très probablement constituée de protéines microbiennes, tandis que la partie non hydrolysable, moins riche en azote, proviendrait essentiellement de la lignine et des substances phénoliques qui la caractérisent.

FONCTIONS DE LA MATIERE ORGANIQUE DES SOLS

A. FONCTIONS PEDOGENETIQUES.

mobilisation des sesquioxydes,
mobilisation de l'argile,
accumulations organiques,
altération des minéraux, etc...

en un mot : genèse du profil.

B. FONCTIONS STRUCTURALES.

production de ciment colloïdal,
ponts organiques avec constituants minéraux,
effets de floculation ou de peptisation intéressant la porosité,
répercussion sur l'économie du sol en eau, en air et sur la résistance à l'érosion.

C. FONCTIONS THERMO-PROTECTRICES ET REGULATRICES DU MICRO-CLIMAT.

effets de couverture (paillis),
effets de teinte (absorption calorifique),
par la porosité, effets sur les mouvements de l'air du sol, les contacts avec l'atmosphère externe et les mouvements de calories.

D. FONCTIONS RETENTIVES POUR L'EAU.

E. FONCTIONS NUTRITIVES DIRECTES.

apports directs par la matière organique fraîche,
minéralisation de l'humus,
régularisation des équilibres ioniques.

F. FONCTIONS NUTRITIVES INDIRECTES.

effets sorptifs, absolus ou relatifs,
effets chélatisants, directs ou indirects,
effets d'échanges anioniques,
effets dissolvants par dégagements acides,
effets stimulants de la nutrition minérale.

G. EFFETS SUR L'ECONOMIE EN IONS H.

production d'ions H,
sorption et activité des ions H.

H. EFFETS SUR LE POTENTIEL D'OXYDO-REDUCTION.

I. FONCTIONS BIOCENOTIQUES.

répartition des chaînes de nourriture,
production de substances actives, à *fonctions synergiques:* substances de croissance,
à fonctions antagonistes: substances inhibitrices,
fixation de la nature et du niveau de l'équilibre biocénotique (niveaux de fertilité).

en un mot: relations plantes supérieures-édaphon.

Outre les méthodes de fractionnement, il existe encore d'innombrables techniques d'étude de la matière organique qui apportent également leur contribution au problème des fonctions humiques.

Il y a des techniques de déterminations globales du carbone, de détermination des groupements fonctionnels (-COOH, OH phénolique, $-NH_2$, etc...), d'analyses spectrographiques, chromatographiques, électrophorétiques, d'absorption lumineuse, etc., dont plusieurs sont appliquées aux laboratoires de pédologie et de chimie analytique de l'Institut Agronomique de Gand.

Le tableau suivant résume un mode de frcationnement de l'humus inspiré de celui proposé par SIMONART lors des travaux précités, et qui répond aux conceptions de nombreux auteurs.

Nous y avons apporté un essai de fractionnement des fonctions humiques.

Toutes les techniques auxquelles nous venons de faire allusion abordent le problème des fonctions de l'humus d'une manière indirecte, souvent implicite, et en tout état de cause, analytique.

Il se présente également de très nombreuses possibilités d'une investigation directe, globale et synthétique, auxquelles nous ferons allusion par la suite.

a) Les fonctions nutritives directes de la matière organique.

En se référant à de multiples travaux, on en arriverait facilement à conclure que, dans de nombreux cas, les apports organiques ont surtout une influence nutritive directe, puisque les fumures minérales semblent avoir des effets bénéfiques équivalents.

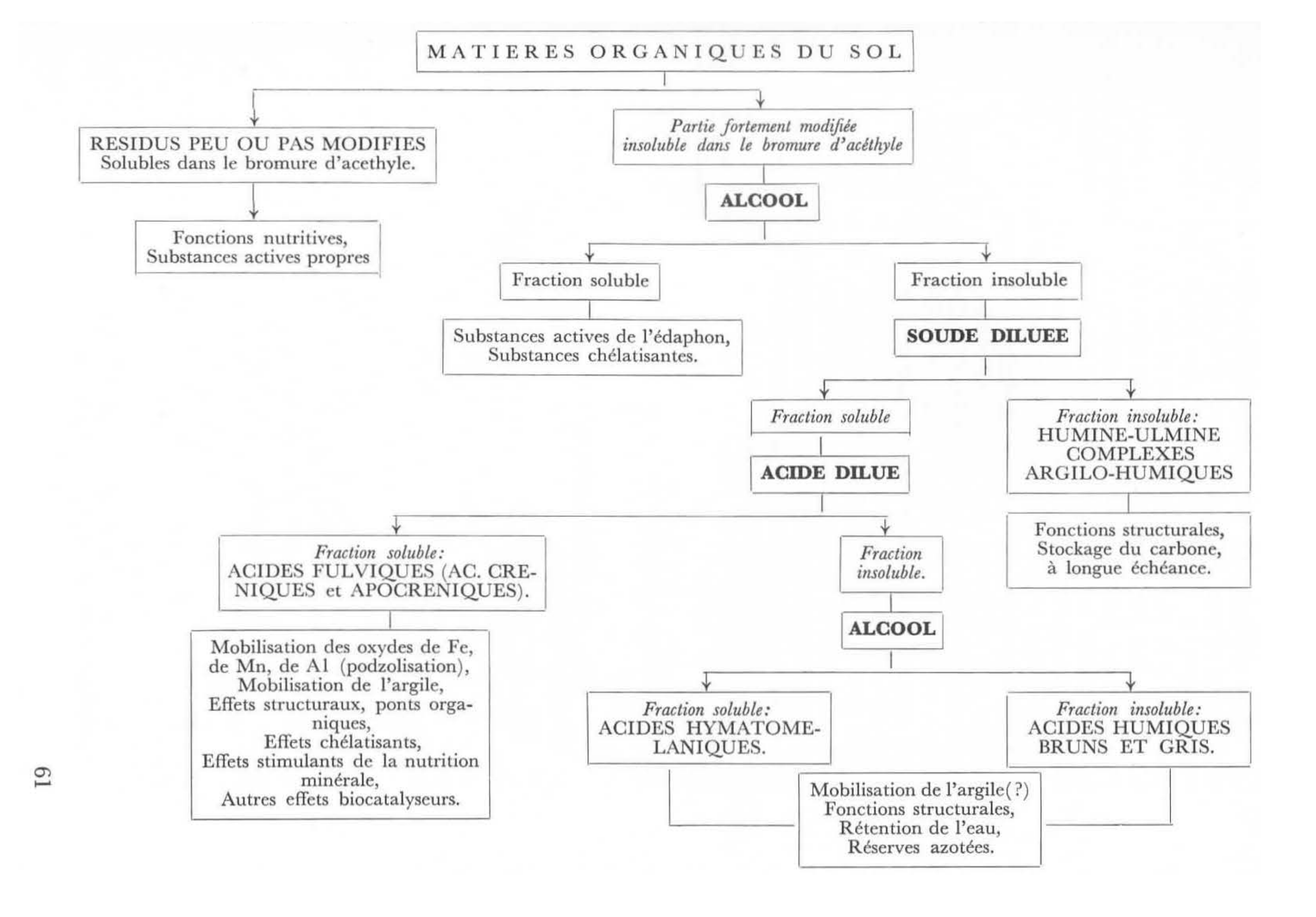
Sans doute serait-il imprudent de conclure trop rapidement à l'équivalence des engrais minéraux si on ne dispose pas d'essais entrepris à longue échéance, car il est nécessaire de tenir compte des effets cumulatifs intéressant, par exemple, la structure.

Mais SEKERA dont nous avons déjà donné l'avis précédemment confirme que le mode souvent défectueux d'apport du fumier ne permet à l'amendement organique de ne manifester que son effet nutritif, et cela, à des conditions peu économiques.

Il est même des cas, où il a été signalé une influence défavorable par déséquilibre cationique induit par un excès de potassium (*).

Au hasard des lectures, nous avons noté la conclusion de GOUNY de la Station Agronomique d'Antibes :

(*) communication verbale de M.L. NYS, chef des Travaux à la Station d'Amélioration de la Pomme de terre de Libramont.


MATIERES ORGANIQUES DU SOL
RESIDUS PEU OU PAS MODIFIES
Solubles dans le bromure d'acethyle.
Fonctions nutritives,
Substances actives propres
Partie fortement modifiée
insoluble dans le bromure d'acéthyle
ALCOOL
Fraction soluble
Substances actives de l'édaphon,
Substances chélatisantes.
Fraction insoluble
SOUDE DILUEE
Fraction soluble
ACIDE DILUE
Fraction insoluble:
HUMINE-ULMINE
COMPLEXES
ARGILO-HUMIQUES
Fonctions structurales,
Stockage du carbone,
à longue échéance.
Fraction soluble:
ACIDES FULVIQUES (AC. CRENIQUES et APOCRENIQUES).
Mobilisation des oxydes de Fe, de Mn, de Al (podzolisation),
Mobilisation de l'argile,
Effets structuraux, ponts organiques,
Effets chélatisants,
Effets stimulants de la nutrition minérale,
Autres effets biocatalyseurs.
Fraction insoluble.
ALCOOL
Fraction soluble:
ACIDES HYMATOMELANIQUES.
Fraction insoluble:
ACIDES HUMIQUES
BRUNS ET GRIS.
Mobilisation de l'argile(?)
Fonctions structurales,
Rétention de l'eau,
Réserves azotées.

« Les exigences en fumures organiques des sols calcaires méditerranéens sont fonction du mode d'exploitation du sol. Ces exigences peuvent être satisfaites aussi bien par les enfouissements de paille que par les fumures organiques classiques.

Mais pour les cultures de printemps non irriguées, il semble que les besoins des plantes peuvent être assurés par le seul emploi des engrais minéraux, sans qu'il en résulte une dégradation sensible de l'état humique des sols ».

Il y a toujours la réserve, cependant, que les essais en cause n'ont pas une portée assez longue pour être complètement significatifs.

Demolon, dans son ouvrage « La croissance des Végétaux cultivés » cite encore les essais de Lyngby de 1919 à 1942 au Danemark pour confirmer que, dans certains cas, seuls des éléments fertilisants du fumier interviennent dans les rendements. Dans les expériences précitées, la moitié des éléments du fumier apportés seuls ont fourni les mêmes rendements que ceux-ci.

Ajoutons toutefois qu'en absence d'amendements organiques le taux humique du sol se maintient à un niveau légèrement plus bas. Mais, il s'agit d'un autre problème qui sera abordé ultérieurement.

En conclusion, il semble évident que certains aspects des fonctions nutritives de la matière organique sont à réserver aux engrais minéraux. En d'autres termes, tout mode d'apport de la matière organique qui ne ferait qu'utiliser la fonction nutritive directe est à considérer comme anormale.

b) Effets nutritifs indirects — effets dissolvants et chélatisants.

Les effets dissolvants proprement dits ont été le plus souvent observés et mesurés sur phosphates naturels ou sur silicates riches en potasse (glauconite, micas). Cette action solubilisatrice est essentiellement en rapport avec la production d'acide carbonique respiratoire et d'acides ou d'acidoïdes divers.

En fait, à cette action dissolvante se superpose généralement *des actions chélatisantes*. Comme il est bien connu, la chélation se caractérise par la formation de complexes organiques qui ont la propriété d'inclure des ions métalliques en réduisant considérablement leur activité ionique. En conséquence, un élément nutritif, comme le fer qui aurait tendance à s'insolubiliser chimiquement dans un milieu très alcalin conserve des formes solubles.

Les effets chélatisants proprement dits ou *effets directs* ont été étudiés et exploités le plus souvent pour le maintien en solution des oligo-éléments comme le fer, le Mn, le Zn, le Cu, spécialement en arboriculture fruitière.

Des effets chélatisants *indirects* ont été avancés pour expliquer l'activité nutritive de phosphates par exemple. En milieux très

calcaires favorables à une fixation chimique intense de l'ion phosphorique, ou en milieux très acides qui donnent des précipités de complexes phospho-ferriques ou phospho-aluminiques peu assimilables, il suffit que l'activité chimique du calcium ou du fer et de l'alumine soit fortement réduite par chélation pour que, automatiquement, les phosphates apparaissent plus solubles.

Ces propriétés sont reconnues à certains composés naturels de la matière organique des sols. Il s'agit le plus souvent de composés à petite molécule dont un des prototypes est l'acide oxalique.

C'est en partie dans les propriétés chélatisantes qu'il faut voir l'effet bénéfique d'application de composts mixtes, enrichis en engrais minéraux, en phosphates le plus souvent.

Un autre effet nutritif indirect est également à mettre à l'actif de l'humus. Il s'agit des actions stimulantes observées sur l'absorption de l'azote et des ions nutritifs minéraux en présence d'extraits humiques.

Des résultats intéressants sont signalés par CHAMINADE, FLAIG, KONONOVA, CHRISTEVA, etc.

Les courbes suivantes reproduites schématiquement de travaux de CHAMINADE illustrent très bien le phénomène.

Cet effet stimulateur de la fonction nutritive et de certaines fonctions métaboliques n'a pas encore reçu d'explications satis-

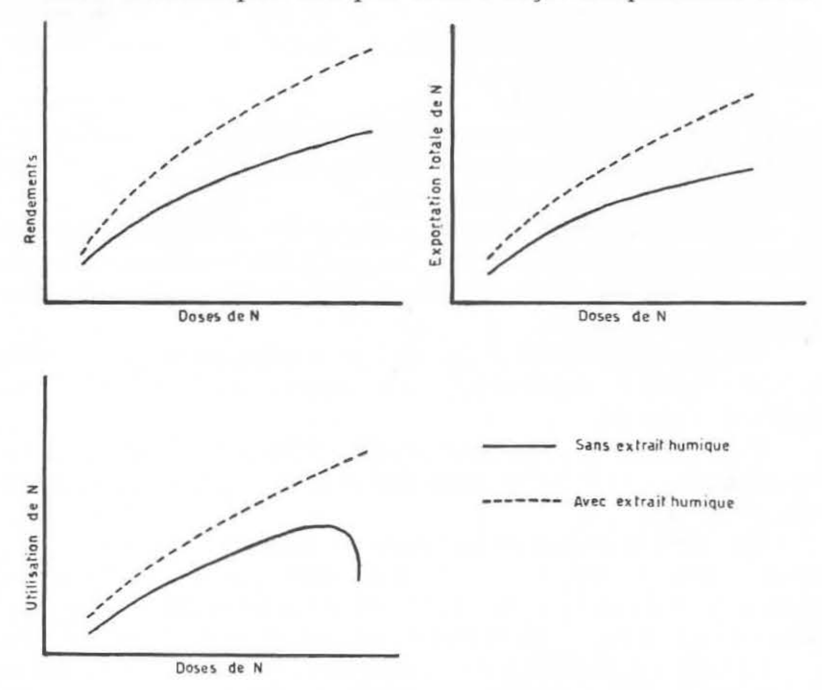


Fig. 4. Effets stimulateurs de l'humus sur l'utilisation de l'azote (Chaminade)

faisantes : on fait intervenir l'augmentation de la perméabilité radiculaire, l'assimilation directe de molécules organiques porteuses d'ions nutritifs, l'action de biocatalyseurs comme les auxines, etc.

Les propriétés de la chélation ont déjà reçu de nombreuses applications, les unes indubitablement intéressantes, les autres plus problématiques; la définition biochimique des substances stimulantes de la nutrition est à peine ébauchée. Il nous paraît légitime de conclure cependant que *l'industrie n'a pas encore livré toutes ses possibilités concernant la production économique de matières destinées à compenser un apport insuffisant d'amendements organiques au point de vue des effets nutritifs indirects.*

c) Les fonctions structurales

Une très abondante documentation a été présentée récemment à Gand lors du symposium international sur la structure des sols organisé par le professeur DE LEENHEER à laquelle il est important de se référer.

Plus personne ne songe à nier que l'évolution structurale des terres, que ce soit dans un sens favorable ou dans un sens défavorable, ne soit sous la dépendance de l'humus.

Mais il reste encore beaucoup à découvrir sur la définition de la part de la matière organique apparaissant comme la plus utile, et sur son mode d'action.

Une hypothèse admise est la suivante : grâce à leurs groupements physico-chimiquement actifs certains composés servent de pont entre les colloïdes minéraux, d'une part, et les fines particules sableuses ou limoneuses, d'autre part.

Un élément intéressant est à ajouter : le blocage des groupements fonctionnels de la surface des particules humifères provoque une augmentation de la résistance de la matière organique aux attaques microbiennes.

Un travail inconsidéré du sol a pour conséquence, non seulement de briser les ponts organiques, mais de favoriser la minéralisation de l'humus.

Nous retrouvons une nouvelle fois les idées de SEKERA selon lesquelles la terre doit être travaillée le moins profondément possible.

En relation avec cette influence du travail du sol, nous avons notre attention attirée depuis longtemps par les phénomènes d'érosion verticale, qui ont d'ailleurs été si bien mis en évidence dans les Polders par les observations du professeur DE LEENHEER.

Quand il se produit dans de mauvaises conditions structurales, le passage d'engins aratoires provoque le départ vers le bas d'une partie des particules fines.

Cette modification texturale peut avoir parfois une heureuse conséquence en augmentant l'arabilité des couches superficielles en terres lourdes, mais elle se présente le plus souvent comme défavorable, en favorisant l'apparition d'horizons compacts en sous-sol.

Un premier point est certainement acquis : *le mode de travail du sol a des répercussions importantes sur la structure et l'économie du sol en matières organiques agrégeantes.*

Mais le problème reste toujours posé de savoir quand l'industrie sera à même de produire des générateurs et des stabilisateurs de structure à des conditions économiques pour la grande culture.

Depuis l'apparition de proto-type comme le Krilium, il est apparu sur le marché de nombreuses résines synthétiques qui ont déjà donné lieu à d'innombrables essais.

Pour les expériences en plein champ que nous retiendrons exclusivement pour cet exposé, on observe fréquemment une réelle augmentation de la stabilité structurale; mais on note plus rarement une augmentation spectaculaire des rendements.

Des résultats présentés par le professeur DE LEENHEER, il apparaît des améliorations des quantités récoltées de l'ordre de 6 % pour les produits les plus actifs en considérant un cycle de 4 années culturales. D'autres auteurs avancent des valeurs plus faibles ou même nulles.

Sauf le cas d'applications horticoles spéciales, l'utilisation des « Soils Conditioners » est encore très loin d'être rentable.

Et soit dit en passant, il en est de même pour les produits mouillants genre « Ultrawett » destinés à augmenter le pouvoir rétentif pour l'eau de sols sableux.

Il est difficile de préjuger de l'avenir des stabilisateurs de structure. Et l'un des problèmes à résoudre en premier lieu serait de savoir jusqu'à quel point les fonctions structurales de la matière organique peuvent être séparées d'autres fonctions intéressant, par exemple, le cycle du carbone et de l'azote, pour des observations à longue échéance.

d) Les fonctions biocénotiques.

A lui seul ce point mériterait un long développement. Les propriétés de la matière organique des sols sont nécessairement le reflet de l'ensemble des conditions écologiques qui prévalent en un point donné. C'est dire que l'humus intervient à la fois au niveau des causes en considérant l'écologie sous un jour fonctionnel ou éthologique, au niveau des conséquences si l'on s'intéresse spécialement aux causes externes. On fait alors de l'écologie mésologique.

Un seul exemple pour illustrer cette vérité, celui des prairies

tourbeuses de Haute Belgique. Le simple apport d'engrais, et spécialement d'engrais azotés a pour conséquence d'augmenter la vigueur et l'activité radiculaire, d'où un meilleur drainage naturel avec comme conséquence une modification de la flore et des conditions d'humification. Dans ce cas, l'humus est manifestement la conséquence des modifications apportées.

Dans les terres cultivées, les caractéristiques qui retiennent immédiatement l'attention se précisent et se chiffrent par la fertilité et les rendements.

Il existe une notion théorique et potentielle de la fertilité qui suppose que tous les facteurs écologiques sont idéalement satisfaits.

On retient plus souvent une conception pratique qui envisage des rendements moyens exprimés pour toutes les plantes intervenant normalement dans la rotation, rendements qui peuvent subir des fluctuations importantes selon les conditions climatiques annuelles.

La conception de fertilité est nécessairement liée sur le plan pratique avec une notion de stabilité ou d'équilibre.

Pour les moteurs mécaniques on s'exprime en vitesse de pointe ou de régime. Celle qui intéresse le plus souvent l'utilisateur pratique c'est la vitesse de régime.

Et tout le monde admet que, plus nous exigeons une vitesse de régime accrue, plus nous devons augmenter la puissance du moteur.

Il en est de même pour la fertilité des terres dont nous devons dégager un aspect relatif et économique qui se définit comme suit : à chaque niveau de rendements accru de manière stable doit correspondre des caractéristiques biocénotiques de plus en plus étroites. Et nous nous posons la question de savoir si ces caractéristiques se manifestent d'une manière la plus générale par un taux quantitatif et qualitatif de plus en plus exigeant en matières organiques. Comme nous le verrons par la suite, le problème doit encore faire l'objet d'investigations plus poussées.

Appliquer les notions de biocénoses aux sols de culture ne présente plus guère de difficultés actuellement depuis les investigations de nombreux spécialistes.

En milieux exploités par l'homme aussi bien qu'en conditions naturelles, les êtres vivants du sol ne sont pas juxtaposés en foule, mais groupés en ensemble fonctionnels.

L'édaphon, suivant l'expression de R.H. FRANCE, n'est pas une simple collection microbiologique et faunique, mais un groupement biocénotique, dont les éléments ont entre eux des relations d'interdépendance.

Pour être complet, il eût sans doute été intéressant de spécifier que la notion de rendement doit probablement inclure de plus en plus des notions de qualités qui, de manière limitée peut-être, peuvent être en opposition avec l'aspect purement quantitatif :

valeur boulangère des froments, qualité ménagère des pommes de terre, etc. Il s'agirait, au fond, de généraliser cette idée de cru qui apparaît si importante pour des spéculations comme la vigne, le tabac, le houblon, les fruits de table, pour lesquelles il faut faire intervenir immédiatement des qualités organoleptiques.

Pour caractériser un sol dans son comportement biocénotique et cela d'une manière globale ou synthétique, il est possible de faire appel à plusieurs systèmes.

Les uns chercheront à caractériser directement l'édaphon, et plus spécialement la microflore. La science des associations microbiennes tend d'ailleurs à se développer. Dans le même ordre d'idées, d'autres chercheurs examineront surtout la faune et la microfaune en tant qu'intégrateur des propriétés du milieu. Il existe en effet des espèces fauniques à exigences très étroites dont l'absence ou la présence indique de fines nuances dans les tendances de l'évolution des sols.

D'autres déterminent, non plus la composition qualitative et quantitative de l'édaphon, mais bien l'activité biologique globale, sans trop se soucier des causes premières, en se servant, par exemple, du dégagement de CO_2, ou mieux en déterminant quantitativement les grandes fonctions métaboliques du sol qui intéressent plus particulièrement les cycles du carbone et de l'azote. POCHON, par exemple, a mis au point les techniques de détermination des pouvoirs: cellulolytiques, protéolytiques, ammonisants, nitrifiants, etc...

Cet auteur donne également des principes très intéressants sur la méthodologie de la prospection biologique des terres en exprimant les résultats, non pas d'une manière absolue, mais relativement à une forme globale d'activité.

Mais une dernière tendance doit retenir plus particulièrement notre attention. C'est celle qui consiste à faire appel aux propriétés quantitatives et qualitatives de l'humus pour caractériser le niveau biocénotique des terres.

1. **Le taux humique des sols — aspect quantitatif**

Il existe actuellement de très nombreuses études consacrées à la relation fertilité et teneur en matières organiques totales des terres.

Présentons tout d'abord un premier document : la carte des teneurs en carbone des sols de la ferme expérimentale de l'Institut Agronomique de Gembloux.

Une constatation s'impose immédiatement : il se manifeste des variations importantes suivant les sites; ces variations sont systématiques et correspondent à certaines lois puique les valeurs se répartissent par plages importantes.

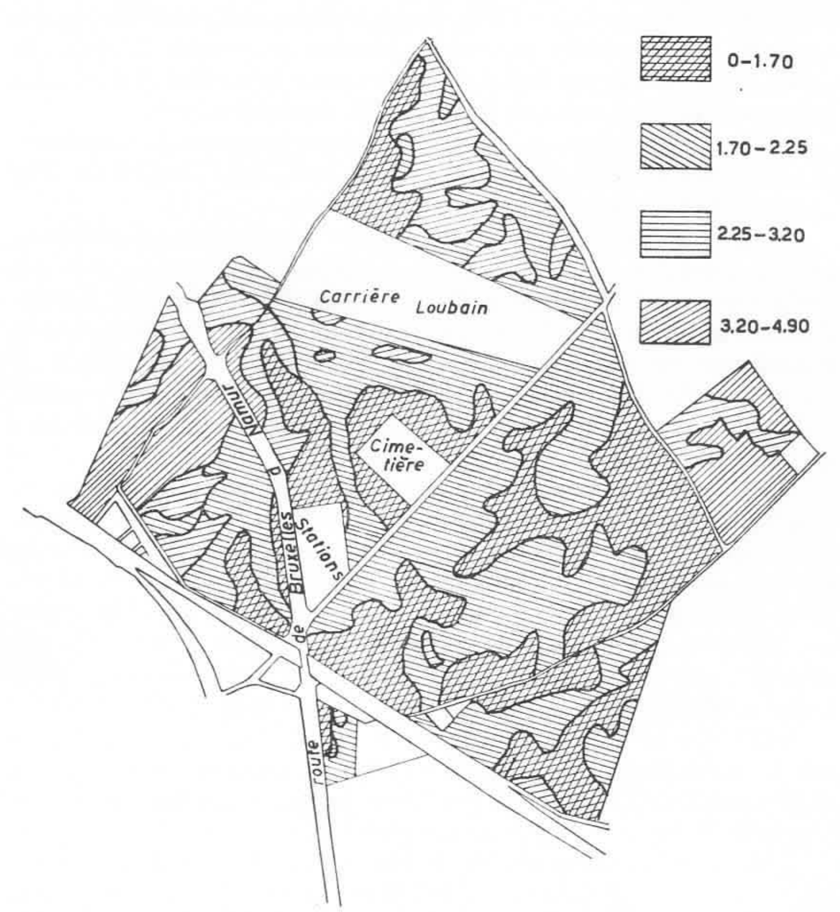


Fig. 5. Carte de distribution de la matière organique dans les terres de la Ferme Expérimentale de l'Institut agronomique de Gembloux (G. HANOTIAUX - 1953). (70 Ha.)

L'étude systématique des facteurs de variation n'a pas encore été entreprise jusqu'à présent. Mais à première vue, il semble que le facteur le plus agissant soit l'économie en eau avec toutes ses composantes de texture, topographie, perméabilité des horizons profonds.

Il se confirme en tout état de cause que la teneur en humus d'un sol donné est tout d'abord le reflet de conditions écologiques et lithologiques générales.

Le fait a été mis en évidence par Jenny, entre autres, pour des conditions naturelles; il est également bien connu pour des terres de culture puisque de nombreux praticiens s'avancent à fixer des chif-

fres moyens pour une région donnée, des chiffres de l'ordre de 2 %, par exemple, pour les régions tempérées en conditions texturales moyennes. Il ne peut s'agir que de chiffres approximatifs qui doivent être revus en fonction des conditions particulières à tous les cas concrets.

Une nouvelle preuve de la stabilité relative du taux humique en tant que reflet d'aspects biocénotiques généraux nous la trouvons dans la constatation de nombreux spécialistes qui arrivent à la conclusion que seules des expériences à longue échéance peuvent conduire à des modifications notables des teneurs en matières organiques quand on compare des objets avec ou sans apports carbonés, avec ou sans amendements organiques. Nous reproduirons par la suite quelques tableaux suggestifs.

Un second document à valeur exemplative est le suivant.

C'est le tableau de la répartition des teneurs en carbone dans les séries que nous avons étudiées des parcelles de la Loi du Minimum de Gembloux (Tabl. I).

TABLEAU I

Carbone total % (Walkley Black)

Profondeurs moyennes	Série n° 1 Pommes de terre	Série n° 2 Maïs et betteraves	Série n° 3 Maïs et betteraves
0 — 25 cm	0.81	1.11	1.03
25 — 35 cm	0.36	0.56	0.47
35 — 50 cm	0.18	0.31	0.27

Parcelles de la loi du Minimum,
Institut Agronomique de l'Etat à Gembloux.
Début d'expérience : 1908,
Prélèvement : novembre 1953,
Déterminations : G. Hanotiaux.

Ces parcelles soumises à l'expérience factorielle NPK, NP, NK, PK et O ont été privées de tout apport organique direct depuis 50 ans.

Les résultats montrent l'influence de l'espèce cultivée.

La pomme de terre est réputée comme laissant peu de résidus dans le sol. Elle exige de plus un travail abondant du sol.

Concernant ce problème du taux humique dans le sol, il est très intéressant de s'en référer aux travaux de nos collègues français HENIN et DUPUIS, BARBIER, MOREL qui ont créé

ou exploité une expression mathématique des processus de l'installation ou du maintien de l'équilibre humique.

En fait, les auteurs font appel à deux coefficients :

Le premier K_2 ou coefficient *isohumique* qui n'est autre que le coefficient de transformation de la matière organique fraîche dans les sols — 0,2 *à* 0,3 pour les résidus de récolte, 0,5 pour le fumier déjà préhumifié, 0,15 *à* 0,2 pour les matières à décomposition plus difficile (paille), pour citer des valeurs fréquemment utilisées par les auteurs précités.

Le second K_1 = *coefficient de minéralisation de l'humus stable:* c'est le rapport de la quantité d'humus stable détruite annuellement à la quantité actuelle.

Les auteurs admettent les chiffres suivants sur bases expérimentales, sur K_1.

Valeur moyenne, 0,015, pouvant descendre à 0,01 pour les terres à taux humique déjà fortement abaissé, et s'élever à 0,02 pour les terres qui contiennent encore beaucoup de réserves humiques.

D'où apparaît la possibilité d'établir certains bilans, selon l'exemple suivant du Tab. II

TABLEAU II

Taux actuel 2 %, (couche arable) pour 3.000.000 Kgs de terre/Ha = ...	60.000 kgs/Ha
Pertes par minéralisation, coéfficient K_2 = 0,012 ...	720 »
Gains par résidus de récolte évalués à 2.000 kgs/Ha de matière sèche et pour K_1 = 0,2	400 »
Solde à retrouver annuellement	320 »

soit 640 kgs de matière sèche de fumier par an et par Ha, en prenant K_1 = 0,5, ou 1.600 kgs de paille avec K_1 = 0,2.

Barbier, G. et Guennelon, R. - 1951 (Bibliog. - 1)

Bien entendu, l'établissement de tels bilans soulèvent un certain nombre de critiques. La seule détermination du taux humique des sols soulève déjà certaines difficultés que nos collègues DE LEENHEER et VAN DEN HENDE ont tenté de résoudre en étudiant systématiquement la valeur de toute une série de techniques d'analyses du carbone des terres.

Il faut encore apporter un autre correctif basé sur le fait que la variation du taux d'humus peut suivre parfois une loi irrégulière selon l'exemple emprunté aux champs fameux de Broadboak à Rothamsted - Tab. III.

La matière organique est exprimée conventionnellement en azote %.

TABLEAU III

années	traitements		
	0	PK	NPK
1865	0.105	0.106	0.117
1881	0.101	0.107	0.121
1893	0.094	0.001	0.115
1914	0.093	0.103	0.115
1936	0.103	0.105	0.120
1945	0.105	0.106	0.123

Reproduit de : Russell, W., - Soils conditions and Plant Growth - 1950. p. 284. (bibliogr. 36)

Au stade actuel de notre enquête nous pouvons nous demander quels sont les facteurs phytotechniques qui sont de nature à influencer le taux humique des sols; sans faire intervenir actuellement les apports organiques directs.

Nous nous bornerons à aborder brièvement deux aspects :
— l'influence des fumures minérales,
— le rôle des déchets de récolte.

Taux humique et fumure minérale

Le tableau suivant donne des chiffres tirés de travaux de MOREL, RICHER et MASSON à Grignon.

En comparant les essais depuis 1902 on constate immédiatement que l'apport de fumure complète maintient la teneur en carbone à un taux un peu supérieur à celui qui est observé sans fumure. Mais dans les deux cas, l'équilibre n'est pas encore atteint en 1938, et sans doute pas en 1952.

Pour les essais qui ont débuté en 1929, il semble bien que des apports même incomplets de fumure sont de nature à sauvegarder les réserves carbonées pour des périodes de courtes durées.

D'autres chiffres intéressants sont donnés par DOBRZANSKI pour la Pologne et qui résument une tendance fréquente des conclusions d'expérience.

Il s'agit d'expériences indépendantes, d'une durée de 40 ans, entreprises en deux stations différentes, sur des substrats lithologiques différents, le premier relativement sableux, le second limoneux.

TABLEAU IV

Traitements	Rendements en blé (1938-1952) (1/2 are)	Taux de carbone		C/N		K_2
		1938	1952	1938	1952	
Parcelles						
Sans engrais depuis 1875	8.2	11.4	10.1	8.77	8.56	0.0087
Sans engrais depuis 1902	10.1	12.2	11.3	8.71	8.63	0.0080
Sans engrais depuis 1931	14.2	15.6	13.4	8.71	8.70	0.0131
Recevant NPK (1902)	26.9	13.0	12.1	8.67	8.77	0.0087
Recevant NK (1929)	22.0	13.6	12.5	8.61	8.74	0.0094
Recevant NP (1929)	22.5	14.7	13.2	8.65	8.68	0.0100
Recevant PK (1929)	18.7	14.3	12.8	8.67	8.89	0.0118
Recevant du fumier seulement (100 kg/are) depuis 1929	24.3	14.6	14.5	8.79	8.95	0.0136

Valeurs extraites de tableaux de résultats parus dans le travail de Morel, A., Richer, A., et Masson, P. (Bibliogr. - 34)

TABLEAU V

Fumure	sol sablo-limoneux	sol limoneux	
0	100	100	Teneurs en matières organiques totales, résultats relatifs
KN	122	114	
PN	113	116	
PK	107	114	
NPK	126	114	
NPKCa	116	123	
Fum.	158	115	
Fum. + Ca	168	—	
Fum. + KN	—	131	
» + PN	—	134	
» + PK	—	123	
» + NPKCa	—	137	
	Station de Sobieszyn (1910-1950)	Station de Golebiew (1913-1949)	

Dobrzanski, B - 1958 (Bibliog. - 11)

On constate immédiatement les résultats différents suivant la texture. Dans les sols plus argileux l'humus se conserve plus facilement. *D'où doit surgir une politique consistant à réserver le plus possible la matière organique aux sols les moins bien pourvus en colloïdes minéraux.*

Le rôle humogène des fumures minérales mériterait encore d'être beaucoup mieux précisé dans le cadre d'une saine économie en matières organiques.

En première approximation on peut résumer comme suit l'influence des 3 éléments principaux : l'azote, l'acide phosphorique et le calcium.

Azote: Effets positifs: stimulation des activités biologiques de synthèse humique, augmentation de la quantité des résidus de récolte.

Effets négatifs: stimulation de la minéralisation ou synthèses partielles ne donnant que des produits à petites molécules facilement entraînables.

Le nitrate de soude est parfois réputé pour son effet défavorable à ce dernier point de vue.

Inutile d'ajouter que le bilan est variable d'une situation à l'autre, d'où apparaît le danger des extrapolations hâtives qui ne tiennent pas compte des caractéristiques biocénotiques.

Phosphore: L'influence du phosphore n'est pas facile à préciser et à mesurer.

Certains auteurs comme DHAR attribuent aux phosphates un rôle prédominant. Cet élément favorise certainement l'épanouissement radiculaire et augmente la fixation d'azote de l'air aussi bien selon les processus biologiques que photo-chimiques. Par les acides nucléiques, le phosphore intervient dans toute une série de synthèses biochimiques dont certaines pourraient intéresser l'humus.

Calcium: Ses effets sont doubles : d'une part, augmentation des activités biologiques de minéralisation, d'où influence plutôt négative; mais action floculante sur les colloïdes humiques qui augmente leur résistance aux attaques microbiennes. Le second effet ne se marque qu'en présence de quantités considérables de calcaire actif; en conditions naturelles il s'observe typiquement dans des types de sol à *mull calcaire* comme les chernozens et les rendzines.

Taux humiques et importance des résidus de récolte

La fonction humigène des résidus de récolte a fait l'objet d'investigations nombreuses.

A titre exemplatif, on peut citer des auteurs comme SAUERLANDT qui ont bien étudié l'influence des apports endogènes de substances humifiables, fournis spécialement par le système radiculaire des plantes cultivées.

D'après ce spécialiste, il semble bien que l'on ait tendance à sous-estimer l'importance quantitative des apports radiculaires. Les mesures que l'on peut faire en un moment donné ne tiennent

pas compte de la masse considérable des fines radicelles qui se renouvellent constamment au cours de la végétation.

Cet auteur a d'ailleurs bien précisé que le taux d'humus édaphique pouvait subir des fluctuations saisonnières notables, de l'ordre de plusieurs tonnes, et qui suivent très parallèlement les courbes de développement du système radiculaire des végétaux.

C'est dans cet ordre d'idées que se situent également les variations saisonnières des formes de l'azote dans le sol mises en évidence par Drouineau et confirmée pour la Belgique par les observations de VAN DEN HENDE, que l'on peut résumer comme suit : les teneurs en azote minéral présentent un minimum en automne et un maximum au printemps; l'azote minéralisable présente deux maximums, respectivement en automne et au printemps, et deux minimums, l'un en été, l'autre en hiver.

Des phytotechniciens comme KOHNLEIN et VETTER ont consacré tout un ouvrage aux résidus de récolte. Ils ont parfaitement mis en évidence que le type pédologique, le type de culture, de fumure, les conditions météoriques, l'importance des rendements ont une influence sur la production des résidus, et par conséquent sur leur pouvoir humogène.

Ils ont confirmé une nouvelle fois que des spéculations fourragères comme les légumineuses et surtout la luzerne, comme la prairie temporaire, peuvent fournir à la terre un supplément organique qui atteint celui d'un apport de fumier.

On doit insister encore sur le fait que les racines et surtout les fines radicelles présentent l'avantage de diffuser de la matière organique d'une manière extrêmement intime et à des profondeurs inaccessibles aux façons culturales.

C'est la raison pour laquelle l'humus radiculaire joue certainement un rôle de premier plan pour le maintien d'un taux qualitatif et quantitatif du carbone et de l'azote des sols.

Nous pouvons certainement conclure qu'il existe encore beaucoup à préciser, et sans doute beaucoup, à améliorer concernant le pouvoir humigène des résidus de récolte.

Taux humiques et rendements

Nous avons soulevé précédemment le problème des relations *taux humiques des sols et fertilité.*

Le problème est beaucoup plus délicat qu'il n'apparaît peut-être à première vue. Car on observe fréquemment un décalage entre les baisses du taux en carbone des terres et les baisses de rendements. A titre d'exemple, il suffit de s'en référer au tableau n° 3 de Grignon, pour se convaincre que les rendements se maintiennent plus aisément que les réserves humiques si l'on compare les parcelles NPK (1902) et fumier seulement (1929).

Pour les fermes de Seine et Oise qui ont négligé les fumures organiques depuis plusieurs décades, BARBIER et GUENNELON constatent également que les exploitations bien cultivées maintiennent leurs rendements malgré la chute des teneurs en humus.

Nous pourrions citer d'autres exemples.

Ce décalage se maintient beaucoup plus longtemps pour les sols bien pourvus en colloïdes minéraux que pour les sols sableux, pour les sols des régions tempérées comparés aux sols des régions chaudes.

Mais quoi qu'il en soit, pour les régions tempérées et pour les terres suffisamment argileuses, il nous paraît nécessaire d'examiner avec plus d'attention et sans esprit à priori cette importante question des rapports taux humiques et rendements, mais sans oublier les effets cumulatifs possibles à longue échéance comme les effets structuraux selon l'opinion déjà exprimée. Il est évident que la teneur des terres en carbone ne doit pas être considérée comme une fin en soi. *Cette importante caractéristique édaphique est tout autant une conséquence de la fertilité qu'une cause. L'influence humigène des fumures minérales et des résidus de récolte en est une première manifestation.*

En fait, les rapports taux d'humus et apports organiques, taux d'humus et rendements doivent faire l'objet de deux problèmes différents, du moins au stade actuel de nos connaissances.

Pour terminer ces considérations, nous reproduisons un tableau des résultats relatifs à trois stations d'essais sur fumure organique entrepris par l'Institut belge pour l'Amélioration de la bettarave (Tab. VI).

TABLEAU VI

Moustier 1954 = 100

Situation des essais	Teneur moyenne des sols en carbone au début de l'expérience 1954	Rendements en racines		Rendements en sucre élaboré	
		Kg/Ha	Valeurs relatives	Kg/Ha	Valeurs relatives
Moustier	2.02	**1954** : 58.008 **1959** : 40.920	**1954** : 100 **1959** : 70.5	**1954** : 8.900 **1959** : 7.434	**1954** : 100 **1959** : 83.5
Trognée	1.99	**1954** : 50.238 **1958** : 43.997	**1954** : 86.6 **1958** : 75.8	**1954** : 8.671 **1958** : 6.502	**1954** : 97.4 **1958** : 73.1
Oorbeek	1.73	**1954** : 47.854 **1958** : 56.889	**1954** : 82.5 **1958** : 98.1	**1954** : 8.182 **1958** : 9.260	**1954** : 91.9 **1958** : 104.0

(*) résultats très obligeamment fournis par M. SIMON, Directeur de l'Institut belge pour l'Amélioration de la betterave, et découlant d'essais effectués depuis 1949 par N. Roussel

Comme les recherches sont à leur début, nous pouvons considérer globalement les 3 stations, en présumant que les différents types de fumures organiques comparés n'ont pas encore eu le temps d'exercer une action différenciatrice notable.

Pour 1954, on pouvait avoir l'impression d'une certaine corrélation entre teneurs en humus et rendements. Cette impression disparaît pour 1958.

2. **Taux humiques — aspect qualitatif**

L'aspect quantitatif est insuffisant à lui seul pour répondre à toutes les questions d'écologie agricole pratique comme de nombreuses observations le montrent.

Il y a, une qualité à considérer pour les réserves humiques.

Cette qualité dépend largement de la nature des débris organiques confiés au sol.

Nous ferons abstraction de l'abondante littérature à ce sujet pour ne relever que la publication récente de SPRINGER et WAGNER qui confirme nettement l'influence non seulement quantitative mais également qualitative de différents types de fumures organiques.

Dans tous les cas, les auteurs notent la présence de deux groupes de substances représentées en quantités variables :

— les acides humiques vrais, à poids moléculaire élevé, d'origine nettement synthétique, dans lesquels l'origine, pour être encore perceptible n'est plus qu'imparfaitement identifiable;

— des composés humiques plus complexes auprès desquels la structure originelle se laisse encore découvrir facilement parceque résultant directement de la décomposition incomplète de résidus végétaux (lignine, cellulose, matières albuminoïdes, etc...).

Dans cet ordre d'idées, nous citerons également un exemple caractéristique cité par MAES et DE LEENHEER (1954-33) pour la Flandre sablonneuse. Il se présente, en effet, des différences de fertilité qui sont explicables par des qualités différentes d'humus, qualités elles-mêmes héritées de traitements anthropiques plus ou moins dégradants.

L'auteur distingue *les sols sablonneux humifères gris*, à caractères plus podzoliques, *des sols sablonneux humifères bruns*.

Reproduisant le seul exemple de la partie soluble dans le fluorure de la matière organique nous observons :

Sol sablonneux brun:
— couche arable : 14,8 %
— couche sous-jacente : 20,1 %
Sol sablonneux gris:
— couche arable : 24,4 %
— couche sous-jacente : 30,4 %

Or, il est bien connu que l'augmentation de la teneur en soluble fluorure coïncide avec une diminution du caractère *mull* de l'humus.

Parmi les causes de variations qualitatives, nous avons déjà noté la nature des débris organiques qui retournent à la terre, nous avons signalé par un cas particulier les conséquences des précédents culturaux. On ne peut ignorer non plus l'importance que peut prendre chacun des facteurs écologiques agissant spécifiquement dans une situation donnée.

Parmi ces facteurs, nous voudrions relever plus particulièrement celui de la roche-mère pédologique. Elle agit non seulement par le degré de saturations en bases qu'elle impose et par les conditions hydrologiques qu'elle induit.

Elle agit encore très probablement par son comportement physico-chimique selon des processus qui ne sont pas encore très bien précisés.

Pour les sols forestiers ardennais que nous étudions spécialement, nous avons observé que la qualité de l'humus semble influencée par la nature géologique, indépendamment du facteur textural.

Prenons un seul exemple.

Deux bioséquences ont été étudiées parallèlement sur deux substrats différents et de manière que seul le facteur lithologique soit la variable indépendante.

Le tableau suivant résume quelques observations. (Tab. VII)

Dans ce tableau, nous avons juxtaposé certaines propriétés concernant la matière organique et d'autres intéressant le fer.

Cette juxtaposition nous permet d'envisager des fonctions catalytiques des colloïdes minéraux du sol, et spécialement des composés ferriques, aluminiques et de la silice.

Il est très probable, en effet, qu'une partie des processus de synthèse dans le sol soit le fait d'actions catalytiques comme SCHEFFER et AL. l'ont montré récemment.

Ces auteurs ont étudié la formation d'humus au départ de substances modèles en présence de composés ferriques naturels qui sont porteurs de groupements (OH) activés.

Nous nous trouvons ainsi reliés une nouvelle fois avec l'idée émise au début de cette conférence, à savoir que l'humus sert de pont entre la biosphère et la lithosphère.

Un nouvel aspect du problème qualitatif est en rapport avec *les substances actives* de synergie ou d'antagonisme.

L'action stimulante de certains composés de l'humus sur le métabolisme nutritif a déjà été signalée à l'occasion des fonctions nutritives indirectes, à propos desquelles le rôle éventuel des auxines a été avancé.

Les études à ce sujet sont en plein développement. Il est encore trop tôt pour conclure si des apports exogènes de ces sub-

stances pourraient compenser une déficience du comportement organique du milieu édaphique.

TABLEAU VII

Déterminations	Horizons	Hêtraie à fétuque		Hêtraie à fétuque et luzule		Hêtraie à luzule	
		Siegenien	Gedinnien	Siegenien	Gedinnien	Siegenien	Gedinnien
MHT soluble au fluorure % terre fine	L + F	4.66	5.61	4.67	5.38	4.46	4.78
	A 1	2.24	3.98	4.38	6.92	3.23	5.91
	A 3	1.02	1.52	2.21	4.84	2.31	2.27
	(B) 1	0.57	0.86	0.79	2.23	0.90	1.34
	(B) 2	0.44	0.53	0.46	0.63	0.38	0.74
	(B) 3 (50 cm)	0.36	—	0.46	0.41	0.31	0.38
MHT/HT (HT = mat. org. totale Springer et Klee)	L + F'	6.8	10.0	6.5	7.7	6.0	7.9
	A 1	10.0	22.1	13.9	14.7	10.1	17.4
	A 3	13.0	17.4	14.5	31.1	16.4	18.3
	(B) 1	11.8	18.4	13.2	31.8	13.2	17.6
	(B) 2	15.1	19.2	15.1	18.4	12.6	15.5
	(B) 3	17.8	—	17.8	18.7	16.5	15.7
Fe complex / Fe libre	A 1	30.59	73.2	35.7	59.2		
Fe compl. par (H_2Ox) / Fe libre par (Hydrosulfite)	A 3	35.76	69.7	34.1	92.1		
	(B) 1	34.73	59.9	38.6	92.9		
	(B) 2	32.66	60.0	46.1	99.9		
	(B) 3	33.20	—	34.4	93.3		

CENTRE D'ETUDE DES SOLS FORESTIERS DE L'ARDENNE ET DE LA GAUME
Déterminations : F. DELECOUR.

Il n'entrait pas dans le cadre de cet exposé de présenter un premier essai de synthèse sur l'influence qualitative et quantitative des différents modes d'apports d'humus dans les terres : fumier, paille, composts, tourbes, déchets divers, engrais verts, etc...

Des divergences parfois très curieuses se manifestent dans les conclusions des auteurs de recherches.

Le rôle humificateur de la paille, par exemple, est trcs diversement interprété selon les cas.

Nous voudrions simplement signaler que l'étude causale de ces divergences serait de nature à apporter une très heureuse contribution aux fonctions biocénotiques de l'humus.

D. Conclusions générales

Nous pouvons résumer en quelques mots la portée des considérations présentées dans ce rapport.

1°) — Dans les contrées à culture intensive et à mécanisation de plus en plus développée, dont par conséquent les possibilités d'amendements organiques sont limitées, il convient tout d'abord d'assurer une évolution humique, la meilleure possible des apports exogènes, entre autres, en amenant la faune du sol à jouer pleinement sol rôle.

Il convient également de profiter au maximum des apports organiques endogènes (résidus de récolte) par une étude plus approfondie de l'action des fumures minérales, des types de rotations, des modes de travail du sol, etc...

2°) — Il nous apparaît nécessaire également de bien se rendre compte que les aspects quantitatifs et qualitatifs que nous déterminons peuvent aussi bien se trouver au niveau des conséquences qu'au niveau des causes, si l'on veut établir des relations entre taux humiques et rendements, taux humiques et fertilité, et éviter de faux problèmes.

3°) — Un examen plus poussé des différentes fonctions de l'humus est de nature à faire apparaître celles qui relèvent nécessairement des apports endogènes ou exogènes de matières organiques et celles qui pourraient être éventuellement, dans la suite, le fait de substances de remplacement au fur et à mesure des possibilités offertes par l'industrie.

BIBLIOGRAPHIE

1. BARBIER, G. et GUENNELON, R. (1951) — Variation actuelle de l'humus dans des terres sans fumier. *C.R. Ac. Agr. de Fr.*, **37,** pp. 119 à 123.

2. BIRRE, A. (1959) — Un grand problème humain, l'humus. Imp. Crété, Paris.

3. BLANCHET, R. (1957) — Influence des colloïdes humiques sur différentes phases de l'absorption des éléments minéraux par les plantes. *C.R. Ac. Sc.* **244,** 2418.

4. BOGUSLAWSKI, E. (1959) — Das Zusammenwirken von Gründüngung und Stickstoffdüngung auf den C und N Umsatz in Boden. *Z. Pfler-nähr. Düng. Bodenk.* **84,** 1-3, 85-93.

5. CHAMINADE, R. (1956) — Action de l'acide humique sur le développement et la nutrition minérale des végétaux. *Act. et C.R. VIe Congr. Int. S. Sol, Paris, commiss. IV*, no **65,** PP. 443-448.

6. CHAMINADE, R. (1959) — Influence de la matière organique humifiée sur l'efficacité de l'azote.
Ztschrft. für Pfianzenernährung, Düng. Bodenk. **84,** 1-3, pp. 22-25.

7. DE LEENHEER, L. et Al. (1958) — Symposium on soil structure. Gent.

8. DE LEENHEER, L. et VAN HOVE, J. (1958) — Détermination de la teneur en carbone organique des sols. Etude critique des méthodes titrimétriques.
Pédologie VIII, pp. 39-73.

9. DEMOLON, A. (1952) — Dynamique du sol. Paris Dunod, éd.

10. DEMOLON, A. (1956) — Croissance des végétaux cultivés. Paris Dunod,éd.

11. DOBRZANSKI, B. (1958) — Einflusz der Düngung auf den Humusgehalt des Bodens.
Ztschr. für Pflanz. ernähr. Düng. Bodenk. **84** (119), pp. 122-127.

12. DUCHAUFOUR, PH. (1956) — Pédologie. Ecole Nation. des Eaux et Forêts, Nancy.

13. DUCHAUFOUR, PH. (1959) — Note sur l'évolution de la matière organique dans les sols.
C.R.Ac. Agr. de la France, t. **45,** pp. 516-519.

14. EMERSON, W.W. and DETTMAN, G.M. (1959) — The effect of organic matter on crumb structure.
Journ. of Soil Sc., vol. **10,** no 2, pp. 227-234.

15. EMERSON, W.W. (1959) — The structure of Soil crumbs.
Journ. of Soil Sc., vol. 10, no 3, pp. 235-244.

16. FLAIG. W. (1958) — Die Chemie organischer Stoffe im Boden und deren physiologische Wirkung.
C.R., Cong. Internat. Sc. du Sol, Commiss. II et IV. Hambourg, pp. 11-45.

17. FRANCE-HARRAR, A. (1957) — Humus, Bodenleben, un Fruchtbarkeit. Bayerischer Landwirtsch. verlag, Bonn, München, Wien.

18. FRANZ, H. (1955) — Die Bedeutung der Kleintiere für die Humusbildung.
Ztschrft. für Pflanz. ernährung, Düng. Bodenk., **69** (114), pp. 176-181.

19. FRANZ, H. (1956) — Aufgaben der Bodenzoologie im Rahmen den Bodenwissenschaften und Voraussetzungen für ihre Erfüllung.
Act. et C.R. VIe Congr. Intern. Sc. S. Paris, commiss. **11-14,** pp. 81-86.

20. HENIN, S. et TURC, L. (1957) — Quelques données nouvelles concernant le bilan de la matière organique des sols.
C.R.Ac. Agric. de France, t. **63,** pp. 88-93.

21. HOLMES, R.S. and BROWN, J.C. (1955) — Chelates as correctives for chlorosis.
Soil Science, vol. **80,** no. 3, pp. 167-179.

22. KOHNLEIN, J. und VETTER, H. (1953) — Erntruckstande und Wurzelbild. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.

23. KONONOWA, M.M. (1958) — Die Humusstoffe des Bodens. trad. Beutelspacher. VEB deutscher Verlag des Wissenschaften, Berlin.

24. KORTLEVEN, J. (1954) — Soil organic matter and plant growth.
Act. et C.R. Ve Congr. Intern. Sc. S. Léopoldville, vol. **IV,** pp. 160-165.

25. KUBIENA, W. (1953) — Bestimmungsbuch und Systematik der Boden Europas. Madrid und Stuttgart.

26. KUBIENA, W. (1955) — Die Bedeutung des Begriffes «Humusform» für die Bodenkunde und Humusforschung.
Ztschrft. für Pflanz. ernährung, Düng. Bodenk. **69** (114) pp. 3-7.

27. LAATSCH, W. (1954) — Dynamik der mitteleuropaischer Mineralboden. Verlag von Theodor Steinkopff, Dresden. u. Leipzig.

28. LAVERGNE, D. et POCHON, J. (1956) — Problèmes méthodologiques posés par l'étude synécologique des sols.
Act. et C.R. VIe Congr. Intern. Sc. S. Paris, Commiss. III, **59**, pp. 349-354.

29. LIEVENS, P.J. et DEGRY, H. (1954) — L'extraction de matières humiques par le fluorure d'ammonium.
Act. et C.R. Ve Congr. Intern. Sc. S., Léopoldville, *II*, **28,** pp. 464-469.

30. MANIL, G. (1956) — L'humus forestier — Première partie, Considérations générales.
Bull. Soc. Roy. Forest. de Belgique, nov. 1956.

31. MANIL, G. (1958) — L'humus forestier — Deuxième partie — La classification des sols forestiers.
Bull. Soc. Roy. forest. de Belgique, sept. 1958.

32. MANIL, G. (1959) — Climax et pédo-climax. I — Discussion des notions de base.
Bull. Soc. Roy, de Botanique de Belgique, t. **91**, pp. 217-238.

33. MAES, L. et DE LEENHEER, L. (1954) — Solubilité de la matière organique dans le fluorure de sodium comme moyen de caractérisation de l'humus dans des sols sablonneux bruns et gris sous climat tempéré humide.
Act. et C.R. Ve Congr. Intern. Sc. Sol, Léopoldville vol. **II,** commiss. II, 292-299.

34. MOREL, R. RICHER, A. et MASSON, P. (1956) — Evolution du taux de matière organique du sol sous le climat parisien.
Act. et *C.R. VIe Congr. Int. Sc. Sol,* Paris, Comiss II-57, pp. 805-810.

35. POCHON, J. et DE BARJAC, H. (1958) — Traite de microbiologie des sols. Paris-Dunod.

36. RUSSEL, Y (Sir E.) (1950) — Soil conditions and plant growth. Longmans, Green, and Co, London.

37. SARKADI, J. (1956) — Examination of the quality of soil humus from the point of view of soil fertility.
Act. et C.R. VIe Congr. Intern. Sc. Sol, Paris-commiss. II **41,** pp. 271-277.

38. SAUERLANDT, W. et GROETZNER, E. (1952) — Untersuchungen über organisch gebundenen Kohlstoff in landwirtschaft-lich genutzten Böden.
Ztschrft. für Pflanz-ernähr., Düng. Bodenk. **62,** pp. 214-229

39. SAUERLANDT, W. et GROETZNER, E. (1955) — Der Einflusz des Stickstoffdüngung auf den Kohlenstoffgehalt im Boden unter Berücksichtigung der Nährstoffaufnahme des Winterweizens.
Ztschrt. für Pflanz. ernähr., Düng. Bodenk., **69,** pp. 181-190.

40. SCHEFFER, F. MEYER, B. und NIEDERBUDDE, E.A. (1959) — Huminstoffbildung unter katalyscher Einwirkung natürlich vorkommen-

der Eisenverbindungen im Modellversuch.
Ztschrt. für Pflanz. ernähr., Düng., Bodenk., **87** (1) — pp. 26-44.

41. SEKERA, F. (1951) — Gesunder und kranken Boden. Paul Parey, Berlin.

42. SIMONART, P. et MAYAUDON, J. (1958) — Etude de la décomposition de la matière organique dans le sol, au moyen de carbone radioactif, I. *Plant and Soil*, no. **4,** pp. 367-375.

43. SIMONART, P. et MAYAUDON, J. (1958) — Etude de la décomposition de la matière organique dans le sol, au moyen de carbone radioactif, II. *Plant and Soil, IX*, no. **4,** pp. 376-380.

Par les mêmes auteurs,

44. *Plant and Soil*, XI, no.**2,** pp. 170-175

45. *Plant and Soil*, XI, no. **2,** pp. 176-180

46. *Plant and Soil*, XI, no. **2,** pp. 181-191.

47. SPRINGER, U. und WAGNER, A. (1959) — Untersuchungen über die nach mehrjähriger organischer Düngung gebildeten Huminsäuren unter Vergleich mit natürlichen Hüminsäuren verschiedener Herkunft. *Ztschrft. für Pflanz. ernähr., Düng., Bodenk.*, **86** (3), pp. 223-249.

48. SPRINGER, U. (1956) — Uber die Beziehungen zwischen den Veränderungen des Humuszustandes des Boden und des Art des verabreichten organischer Düngung.
Act. et C.R. VIe Congr. Inter. SC. sol, Paris, IV-**16,** pp. 91-97.

49. STENUIT, D.F. (1955) — Les éléments mineurs dans le sol.
Agriculture, vol III, 2e Série, no. **2**, pp. 129-155.

50. VAN DEN HENDEN, A. COTTENIE, A. et DE VLIEGHERE. (1954) — Quelques préparations expérimentales de fumier artificiel effectuées en Belgique.
Chimie et Industrie, vol. 71, no. **1,** pp. 85-90.

51. VAN DEN HENDE, A., MATON, A., et COTTENIE, A., (1954) — Le fumier artificiel, source d'humus.
Revue de l'Agricultura, 7e *année*, no. **5,** pp. 3-12.

52. VAN DEN HENDE, A. et LATON, A. (1956) — Considérations relatives à l'économie de l'azote dans les sols belges.
Act. et C.R. VIe Congr. Intern. SC, Sol, Paris, II (**14**), pp. 499-504.

53. VAN DEN HENDE, A., et DE BIEVRE, M. (1959) — Etude critique de la méthode de Kurmies pour la détermination de l'humus des sols. *Pédologie*, IX, pp. 16 à 27.

54. VAN HOVE, J., et DE LEENHEER, L. (1959) — Détermination de la teneur en carbone organique des sols par voie colorimétrique. *Pédologie*, IX, pp. 71 à 94.

55. WINTER, A. und SCHÖNBECK, F. (1959) — Zum Wirkstoffkreislauf Pflanze, Tier, Goden.
Ztschrift. für Pflanz. ernähr., Düng., Bodenk. **84** (1-3), pp. 11-21.

56. WITTICH, W. (1952) — Die heutige Stand unseres wissens vom Humus und neue Wege zue losung des Rohhumus Problems im Walde.
J.D. Sauerlanderss Verlag, Frankfurt a/Main.

SAMENVATTING

Enkele actuele aspecten van het probleem van het organisch bodemmateriaal

De draagwijdte van de besproken beschouwingen kan als volgt samengevat worden :

1. Bij een intensieve uitbatingswijze van bouwland en een ver doorgedreven mechanisatie, welke een sterke vermindering van de organische bemesting tot gevolg heeft, moet gestreefd worden naar een zo ideaal mogelijk verloop van de humificatie van het toegediende organisch materiaal; dit geschiedt onder andere door de voorwaarden te scheppen, waarbij de bodemfauna tot zijn volste ontwikkeling komt.

   Zoveel mogelijk voordeel moet men trachten te halen uit het toegediend endogeen organisch materiaal (oogstresten); dit vergt een grondiger studie betreffende de werking van de scheikundige bemesting, de rotatiesystemen, de verschillende grondbewerkingen, enz.
2. Het is noodzakelijk, en dit om valse probleemstellingen te vermijden, zich goed voor ogen te houden, dat zowel de kwantitatieve als de kwalitatieve aspecten, die we nagaan, evengoed oorzaak als gevolg kunnen zijn, wanneer het gaat om een verband tussen humusgehalte enerzijds en opbrengst of vruchtbaarheid anderzijds.
3. Een verder doorgedreven onderzoek omtrent de verschillende functies van de humus zou van aard moeten zijn de specifieke rol zowel van het exogeen als van endogeen materiaal te belichten, en gebeurlijk na te gaan in hoever in de toekomst de rol hiervan kan overgenomen worden door beschikbare industriële afvalproducten.